



Mikko Vepsäläinen

Elinkaarihankkeen hybridilämmitys- järjestelmän tapaustutkimus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

21.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Mikko Vepsäläinen
Otsikko:	Elinkaarihankkeen hybridilämmitysjärjestelmän tapaustutkimus
Sivumäärä:	31 sivua
Aika:	21.4.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	Yliopettaja Aki Valkeapää Suunnittelupäällikkö Jouni Pesonen

Tässä opinnäytetyössä tehtiin tapaustutkimus elinkaarihankkeen hybridilämmitysjärjestelmästä. Tutkimuksessa keskityttiin havainnoimaan tapaustutkimus kohteen ongelmia sekä löytämään kehityskohteita ajatellen tulevia hankkeita, joissa käytetään samankaltaista lämmitysjärjestelmäratkaisua.

Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti kohteen kaukolämpö-maalämpöhybridijärjestelmään. Tavoitteena oli löytää kehitettävää hankkeen eri vaiheista, jotta seuraavissa hankkeissa voitaisiin huomioida mahdolliset ongelmat ja kehityskohdat hankkeen läpiviennin aikana ja samalla saada mahdollisia kustannussäästöjä.

Tutkimushavaintoja koottiin kohteen rakennus-, käyttöönotto- ja ylläpitoajalta. Havaintoja ja kehityskohteita löydettiin suunnitellusta, sopimuksista, laadunvarmistuksesta ja ylläpitovaiheesta. Työn tuloksena koottiin havaintoja seuraavien hankkeiden toteutuksessa hyödynnettäväksi.

Avainsanat: hybridilämmitysjärjestelmä, maalämpö, kaukolämpö, elinkaarihanke, tapaustutkimus

Abstract

Author: Mikko Vepsäläinen
Title: Hybrid heating system case-study in life cycle construction project
Number of Pages: 31 pages
Date: 21 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Specialisation option: HVAC Design
Instructors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer
Jouni Pesonen, Chief Designer

The purpose of bachelor's thesis was to find things to either further develop or things that cause problems in life cycle construction projects for hybrid heating systems. The matter was studied during construction, the testing phase of a building and in the maintenance period.

The study was made by participating and documenting findings during the construction, testing and maintenance phases of a case project. The focus was on the building's hybrid heating system, and observations were made about every field of the process. The focus of the observations was on making financial savings throughout the construction and maintenance phase of the building.

Points to develop were discovered at every phase of the project. The development suggestions focused on points in the design of the heating system, improving the quality control through contracts and design documents, and things to improve when entering the maintenance phase of a life cycle project. The observations are used as support in the development of the next building project with a similar heating system.

Keywords: hybrid heating solutions, geothermal heating, district heating, life cycle construction, case-study

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Hybridilämmitysjärjestelmän osat ja toiminta	2
2.1	Kaukolämpö	2
2.1.1	Kaukolämmön perusteet	2
2.1.2	Kaukolämmön mitoitusperusteet	3
2.2	Maalämpö	4
2.3	Kaukolämpö-maalämpöhybridijärjestelmä	5
2.4	Kiinteistöautomaatiikka	6
2.4.1	Kiinteistöautomaatiikan rakenne	6
2.4.2	Modbus-väylä	7
2.4.3	Laki uudisrakennusten automaatiikasta	8
2.5	Matalan GWP-arvon kylmäaineet	9
2.5.1	GWP-arvo yleisesti	9
2.5.2	Kylmäaineen oleelliset tekniset ominaisuudet	9
2.5.3	Tulevaisuuden näkymät	10
2.6	Elinkaarihanke PPP-malilla	10
2.6.1	Suunnittelu- ja rakennusvaihe	10
2.6.2	Ylläpito- eli kunnossapitajakso	11
3	Kohdekuvaus	11
3.1	Kohteen perustiedot	11
3.2	Tilaajan asettamat vaatimukset	13
3.2.1	Laadulliset ohjeistukset	13
3.2.2	Kohteen tekniset vaatimukset	13
3.3	Lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate	15
3.3.1	Lämmönjakelu ja -tuotanto	15
3.3.2	Maalämpöpumppujen toiminta	16
3.3.3	IV-verkosto	17
3.3.4	Radiaattori- ja lattialämmitysverkoston toiminta	19
4	Tutkimustyö ja havainnot	22
4.1	Hankkeen aikana tehdyt havainnot	22
4.1.1	Suunnittelu ja suunnitelmien yhteensovitus	22
4.1.2	Aikataulut	24

4.1.3	Urakkarajat ja sopimussisällöt	25
4.2	Kiinteistön käyttöönoton aikana havaitut ongelmat	25
4.3	Käytön aikana havaitut ongelmat	26
5	Kehitysehdotukset	26
5.1	Hyötysuhteiden parantaminen	26
5.2	Hukkalämpöjen hyödyntäminen	27
5.3	Automaatiolla saavutettavat kustannussäästöt	27
5.4	Ylläpitovaiheen järjestelmien optimointi	28
5.5	Sopimusten ja toteutusaikaisen laadunvarmistuksen kehittäminen	30
6	Yhteenveto	30
	Lähteet	32

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan elinkaarihankemallilla rakennetun koulukohteen toteutusta ja tavoitteena on löytää mahdollisia talotekniikan kehitys- ja parannusehdotuksia, joita voitaisiin hyödyntää jatkossa vastaavilla hankkeilla. Opinnäytetyössä tarkastellaan kohteen suunnittelu-, rakennus- sekä käyttöönottovaihetta. Opinnäytetyössä perehdytään koulukiinteistön tekniseen toteutukseen, hankekehitysvaiheesta kohteen luovutukseen saakka. Osa opinnäytetyöstä toimii myös pohjamateriaalina suunnittelun ohjaukselle helpottamaan toteutuksen kehitystä.

Opinnäytetyö toteutetaan YIT Oyj:n talotekniikan rakennuttamisen yksikölle, joka toimii osana YIT Oyj:n toimitilarakentamisen segmenttiä. YIT Oyj on suurin suomalainen ja yksi merkittävimmistä pohjoiseurooppalaisista hankekehittäjistä ja rakennusyhtiöstä. YIT työllistää noin 5000 henkeä Suomessa, Ruotsissa, Latviassa, Liettuassa, Tšekissä, Slovakiassa ja Puolassa. [1.]

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia kouluelinkaarihankkeen läpivientiä. Elinkaarihankkeen toteutuksen aikana on havaittu, että mahdollisia kehitys- ja parannuskohtia on jäänyt suunnitteluvaiheen aikana huomaamatta. Pienilläkin parannuksilla voidaan saada pitkän elinkaaren aikana mittavia kustannussäästöjä. Tavoitteena on tunnistaa kehityskohtat ja tuoda esille havaitut ongelmat sekä löytää niihin mahdollisia ratkaisuja. Kehityksen osalta keskitytään erityisesti lämmitysjärjestelmään ja sen toiminnan optimointiin.

Opinnäytetyön tutkimus toteutetaan sekä hankkeen rakennusvaiheessa, että luovutus- ja takuuajana. Rakennusvaihe koostuu taloteknisistä asennustöistä ja käyttöönoton tarkastuksista sekä toiminnantestauksista. Luovutuksen jälkeen takuuajana seurataan kohteen toimintaa kohteen ollessa sille luodussa käytössä.

Kirjallisena materiaalina käytetään kohteen hankevaiheen tarjouspyyntömateriaaleja, rakennusaikaista suunnittelumateriaalia sekä käytönaikaista e-valvomoa, josta saadaan tietoa kohteen kulutuksista ja toiminnasta.

2 Hybridilämmitysjärjestelmän osat ja toiminta

2.1 Kaukolämpö

2.1.1 Kaukolämmön perusteet

Kaukolämpöjärjestelmissä kiinteistön lämmitykseen tarvittava lämpö tuotetaan energialaitoksen kaukolämpölaitoksessa ja kuljetetaan kiinteistölle kaukolämpöverkosta pitkin kaukolämpöveden mukana. Kaukolämpö tuodaan kaukolämpöputkilla kiinteistön lämmönjakokeskukselle, jossa lämpöenergia siirretään lämmönsiirtimen avulla energialaitoksen kaukolämpöverkosta (ensiöpuoli) kiinteistön lämmitysverkostoihin (toisiopuolelle). Kiinteistön lämmitysverkoston eli toisiopuolen tehtävänä on kuljettaa kaukolämpöverkosta saatu energia kiinteistön lämmönjakolaitteille, joiden kautta saadaan tuotu lämpö hyödynnettyä kiinteistön lämmityksessä. Toisiopuolen verkoston käytöstä ja ylläpidosta vastaa kiinteistön omistaja. [2, s. 7.]

Kun kiinteistölle valitaan lämmitysratkaisuksi kaukolämpö, tulee suunnittelussa noudattaa lämmöntuottajan antamia ohjeistuksia. Yleisesti energialaitokset käyttävät energiateollisuuden julkaisua K1 Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet. Perusvaatimuksena kaukolämpöä käyttävälle kiinteistölle on, että kiinteistössä on saavutettava hyvälaatuinen sisäilmasto kaikissa tiloissa ja olosuhteissa. Kiinteistössä on tavoiteltava mahdollisimman tehokasta lämpöenergian käyttöä, jolloin energian kulutus ja tehontarve pysyvät mahdollisimman alhaisina. [2, s. 7.]

2.1.2 Kaukolämmön mitoitusperusteet

Kaukolämpöä suunniteltaessa tulee suunnittelijan tarkastaa lämmön myyjältä ensiöpuolen mitoituksiin liittyvät lähtötiedot, joihin kuuluvat käyttöpaine ja sen vaihtelut sekä ensiöpuolen mitoituslämpötilat. Uudisrakennuksen lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötilat tulee valita niin, että lämpöhäviöt pysyvät mahdollisimman pieninä ja säädettävyys hyvänä. Tähän pyritään pitämällä verkostoon menevän veden lämpötila mahdollisimman alhaisena. Mitoituslämpötiloja lämmitysjärjestelmään valitessa käytetään taulukossa 1 esitettyjä lämpötiloja. [2, s. 3, 8.]

Taulukko 1. K1 energiateollisuus, taulukko B. Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. [2, s. 8.]

	Lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat °C		
	Ensiö		Toisio
	Tulo	Paluu	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90 (max)	33 (max)	LVI-suunnittelija mitoittaa järjestelmät siten, että menolämpötila on enintään 60 °C ja paluulämpötila on enintään 30 °C.
			Lisäksi: Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.

Käyttöveden siirtimen mitoituslämpötiloissa tulee huomioida, että käyttöveden lämpötilan tulee olla koko järjestelmässä vähintään 55 °C [YM asetus 1047/2017 6§]. Tällöin järjestelmä suunnitellaan niin, että lähtevän käyttöveden lämpötila on vähintään 58 °C. Sama ympäristöministeriön asetus määrää, että lämminvesilaitteista saatavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65 °C [2, s. 9.]

Käyttövesijärjestelmän siirrintä mitoitettaessa käytetään taulukossa 2 esitettyjä arvoja, jolloin säädettävyys pysyy mahdollisimman hyvänä kaikissa tilanteissa.

Taulukko 2. K1 energiateollisuus, taulukko C. Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat. [2, s. 9.]

	Lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat °C			
	Ensiö		Toisio	
	Tulo	Paluu (max)	Kylmä vesi	Lämmin vesi (min)
Käyttöveden lämmönsiirtimet	70	20	10	58

2.2 Maalämpö

Maalämpötekniikassa hyödynnetään maaperään sitoutunutta lämpöä. Lämpöä siirretään maaperästä hyödyntäen lämpökaivoja ja lämmönkeruunestettä. Lämmönkeruuputkistossa kiertävä neste sitoo itseensä maaperään varastoitunutta lämpöä, joka kuljetetaan lämmönkeruupumpun avulla maalämpöpumpun höyrystimelle. Höyrystimellä keruupiiristä saatu lämpö saa lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen höyrystymään. Höyry virtaa höyrystimestä kompressorille, joka puristaa sen korkeampaan paineeseen, ja samalla kylmäaine tulistuu eli lämpenee voimakkaasti. Kompressorilta kuumakaasu virtaa lauhduttimelle, jossa lämpö siirretään kiinteistön lämmitysjärjestelmään hyödynnettäväksi kiinteistössä. Lauhduttimella kylmäaine voi myös alijäähtyä muutaman asteen. Lauhduttimelta kylmäaine virtaa paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen paine pudotetaan ja samalla kylmäaine jäähtyy voimakkaasti. Paisuntaventtiilillä jäähtynyt kylmäaine virtaa uudelle kierrokselle höyrystimeen, josta prosessi alkaa alusta. [3, s. 230–233.]

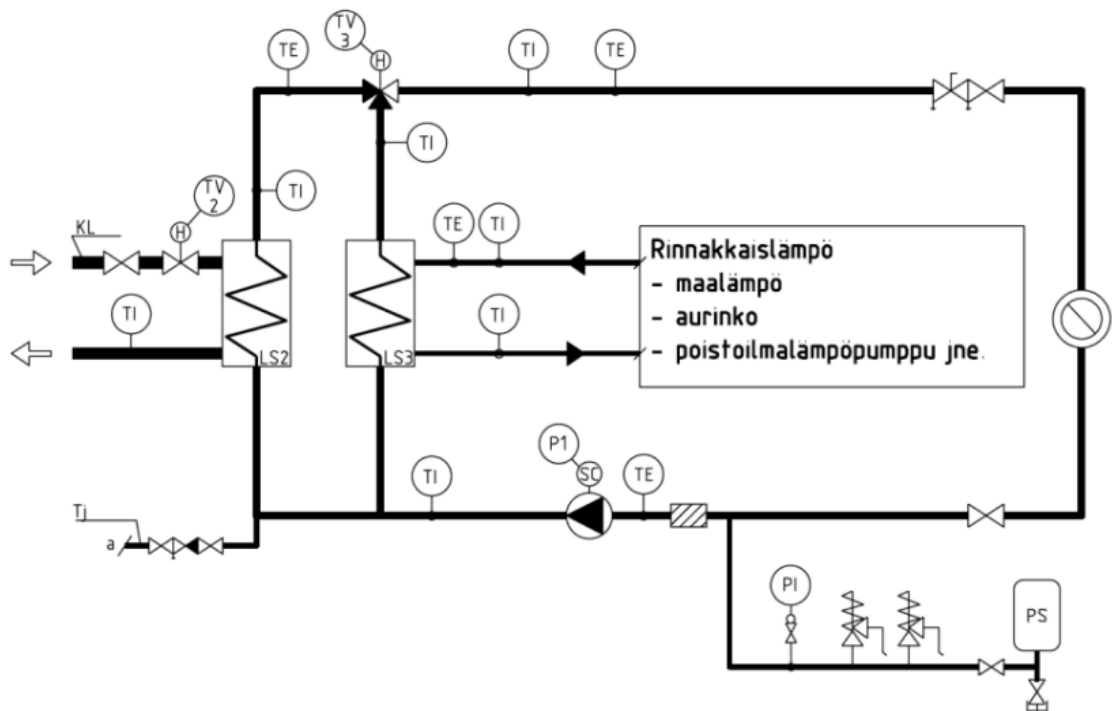
Lauhduttimelta saatu lämpö siirretään lämmitysverkostoon ja sitä kautta hyödynnettäväksi kiinteistöön. Maalämpöpumpun yhteydessä olisi hyötysuhteen parantamisen takia tärkeää käyttää puskurivaraajaa, johon lämpöpumpulla tuotettu lämpö varastoidaan, ennen kuin se siirretään lämmitysverkostoon. Puskurivaraajalla saadaan kasvatettua verkoston vesitilavuutta, ja tällöin maalämpöpumpun käyntijaksot pitenevät ja lämpöpumpun hyötysuhde paranee. Pitkät käyntijaksot kuluttavat tällöin myös vähemmän kompressoria. Puskurivaraaja

erottaa myös lauhdutin- ja lämmitysverkoston toisistaan, jolloin lämmitysverkoston virtaamavaihtelut eivät vaikuta lämpöpumpun toimintaan, eikä myöskään tällöin lämpötila jää huojumaan. [3, s. 230–233.]

2.3 Kaukolämpö-maalämpöhybridijärjestelmä

Hybridijärjestelmää suunnitellessa tulee huomioida rakennusten kaukolämmityksen määräyksissä ja ohjeissa esitetyt kytkentäohjeet hybridijärjestelmille. Energialaitosten käyttämässä ohjeistuksessa on kirjattu rinnakkaislämmön esimerkki kytkennästä, ettei kytkentä tarpeettomasti heikennä kaukolämpöveden jäähtymää tai asiakkaan lämmityksen toimitusvarmuutta. Kaukolämmön kanssa rinnakkaislämmönlähde tulee kytkeä niin, ettei se lämmitä lämmitysverkoston paluuvettä. Lämpö pyritään tuottamaan rinnankytkennässä ensisijaisesti jollain muulla kuin kaukolämmöllä. Mikäli rinnakkaislämmönlähteestä ei saada tarpeeksi tehoa eli veden lämpötila ei ole riittävä, otetaan lisälämpö kaukolämmöstä. [2, s. 92.]

Lämmitysverkostoon haluttu lämpötila saadaan säätämällä verkoston 3-tiesekoitusventtiiliä, joka on esitetty kuvassa 1 tunnuksella TV 3. Mikäli lämmitysverkoston menolämpötila ei saavuta pyydettyä lämpötilaa, kaukolämmön säätöventtiili (kuvassa TV 2) säätää kaukolämmönsiirtimen läpivirtaavan nesteen lämpötilaa säätökäyrän mukaiseen arvoon. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että kuvassa näkyvän siirtimen LS 2 on tuotettava korkeampaa lämpötilaa kuin lämmitysverkoston menovesi on. [2, s. 92.]



Kuva 1. Rinnakkaislämmönkytkentä tilojen lämmitykseen [2, s. 92].

2.4 Kiinteistöautomaatiikka

2.4.1 Kiinteistöautomaatiikan rakenne

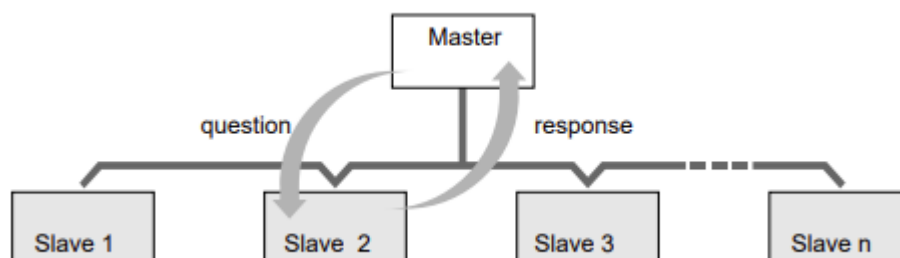
Kiinteistöautomaation tehtävänä hallita ja ohjata kiinteistön olosuhteet luovien järjestelmien toimintaa. Automaatiojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen eri tasoon. Ensimmäinen on kenttätaso, joka pitää sisällään kaikki fyysiset laitteet. Näihin kuuluvat erinäiset mitta- ja toimilaitteet, joiden mittaustietoa ja toimintaa käytetään järjestelmän toiminnan ohjaamiseen. Toisena tasona voidaan pitää automaatiotasoa, johon kuuluvat alakeskustason laitteet ja kaikki järjestelmän ohjelmoitava logiikka. Automaatiotason tehtävänä on ohjata kenttätasolla olevia laitteita. Kolmantena tulee hallintaso, jota kutsutaan myös valvomotasoksi, valvomotaso toimii järjestelmän käyttäjään ohjaustasona, ja tällä tasolla tapahtuvat ohjaus- ja seuranta-toimenpiteet järjestelmälle. Valvomotaso voi olla niin etänä toimiva pilvalvomo, lähivalvomo tai näiden yhdistelmä. Vaikka kiinteis-

töllä olisi käytössä pilvipohjainen valvomo, ei kohde tarvitse verkkoyhteyttä toimiakseen. Kiinteistöjärjestelmään päästään käsiksi alavalvomokeskusten kautta ja kiinteistö toimii omana "stand alone" -järjestelmänä vaikka verkkoyhteys olisi poikki. [4, s. 60.]

2.4.2 Modbus-väylä

Kiinteistöautomaation laitteiden tulee voida lähettää ja vastaanottaa tietoa, jotta järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla. Kenttälaitteet liitetään kaapeloinnilla kenttäväylään, josta niitä voidaan ohjata käyttämällä Modbus-protokollaa. Kenttäväylän tehtävänä on myös yhdistää alakeskusten ohjelmoitavat hallintalaitteet kenttätason laitteisiin. Modbus-protokollaa käyttäessä toimivat väylään kytketyt laitteet master-slave-periaatteella, jossa alakeskuksen automaatio tason laitteet toimivat isäntänä (master) ja kenttälaitteet renkinä (slave). [5, s. 6–7]

Jokaiselle järjestelmässä olevalla Modbus-laitteelle on annettava yksilöllinen osoite. Kun väylässä olevaa tiettyä laitetta (slave-laite) halutaan ohjata, antaa isäntälaitte (master-laite) väylään komennon, joka sisältää ohjattavan laitteen Modbus-osoitteen. Kaikki väylässä olevat laitteet vastaanottavat master-laitteelta lähteneen komennon, mutta vain oikean osoitteen omaava laite suorittaa sen. Slave-laitteen vastaanotettua komennon laite lähettää väylää myöten vastauksen takaisin master-laitteelle. [5, s. 6–7]



Kuva 2. Master-slave-väylän kysymys-vastausmekanismi. [5, s. 6]

2.4.3 Laki uudisrakennusten automatiikasta

Toteutettaessa uudiskohdetta tulee huomioida laissa määrätyt toimenpiteet kokiin rakennusautomaatiojärjestelmää. Silloin, kun kiinteistön yhdistetty lämmityksen nimellisteho ylittää 290 kilowattia, tulee noudattaa lakia rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 2020/733 asettamia vaatimuksia. Lain tarkoituksena on panna täytäntöön Euroopan parlamentin direktiivit energiatehokkuudesta. Laissa on otettu kantaa rakennuksen varustamisesta automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. Vastuu kiinteistön varustamisesta näillä järjestelmillä on rakennushankkeeseen ryhtyvällä. [6, § 11.]

Lakiin on automaatio- ja ohjausjärjestelmien osalta kirjattu seuraavat vaatimukset, jotka kiinteistöön asennetun järjestelmän tulee voida täyttää:

Rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmän on kyettävä:

- 1) jatkuvasti seuraamaan, kirjaamaan ja analysoimaan energian käyttöä sekä mahdollistamaan käytön mukauttaminen;
- 2) tekemään vertailevaa analyysiä rakennuksen energiatehokkuudesta, havaitsemaan rakennuksen teknisten järjestelmien tehokkuuden heikkeneminen ja ilmoittamaan tiloista tai rakennuksen teknisestä hallinnoinnista vastaavalle henkilölle energiatehokkuuden parantamiseen liittyvistä mahdollisuuksista; ja
- 3) mahdollistamaan viestintä toisiinsa yhteydessä olevien rakennuksen teknisten järjestelmien ja muiden rakennuksen sisäisten laitteiden kanssa sekä yhteen toimivuus rakennuksen teknisten järjestelmien välillä erilaisesta valmistajakohtaisesta teknologiasta, laitteista ja valmistajista riippumatta. [6, § 14.]

2.5 Matalan GWP-arvon kylmäaineet

2.5.1 GWP-arvo yleisesti

Kylmäaineet ovat oleellinen osa lämpöpumppujen toimintaa, sillä ilman kylmäainetta ei lämpöpumpulla voida tuottaa lämpöä. Kylmäaineiden käyttöä rajoitetaan kuitenkin lakisääteisesti. Euroopan unioni on säätänyt asetukset koskien F-kaasuja, ja asetusten tavoitteena on laskea EU-tasolla sen tuottamia hiilidioksidipäästöjä. F-kaasuasetuksessa säädellään kylmäaineissa käytettyjen HFC-yhdisteiden käyttöä perustuen niiden ilmastonlämpenemispotentiaaliin, jota mitataan GWP-arvon (global warming potential) eli lämmityspotentiaalin kautta. Jokaiselle kylmäaineelle on määritelty GWP-luku, joka kuvaa sen kasvihuonevaikutusta suhteutettuna hiilidioksidiin. Vertaustasona yhdelle kilolle kylmäainetta käytetään yhtä kiloa hiilidioksidia, eli hiilidioksidin vertailutaso on tässä tilanteessa 1. Esimerkiksi lämpöpumpussa tyyppillisesti käytetyn kylmäaineen R410A:n GWP-luku on 2088. Tällöin kun ainetta R410A vuotaa yksi kilo ilmakehään, se vastaa ilmastonlämpenemisvaikutukseltaan 2088 kiloa hiilidioksidia. [7.]

2.5.2 Kylmäaineen oleelliset tekniset ominaisuudet

Kylmäaineen oleellisiin ominaisuuksiin termodynamiikan osalta kuuluvat COP eli lämpökerroin ja Q_{vol} eli tilavuustuotto. Hyvällä lämpökertoimella ja korkealla tilavuustuotolla oleva kylmäaine tarkoittaa lähtökohtaisesti sitä, että saadaan hyvällä hyötysuhteella oleva laite pakattua pieneen tilaan. Lämpöpumppusovelluksissa lämpökertoimella mitataan pumpun hyötysuhdetta. Tällöin 3 COP:in lämpökertoimella oleva lämpöpumppu kuluttaa 1 kWh sähköä ja tuottaa 3 kWh lämpöenergiaa. Lämpökertoimen laskemiseen käytettävä kaava esitetään alla. Tilavuustuotto (kJ/m^3) kertoo, kuinka paljon lämpöä energiaa sitoutuu kun 1 kg kylmäainetta höyrystyy. [8, s. 5.]

$$COP \text{ Lämpökerroin} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}}$$

2.5.3 Tulevaisuuden näkymät

Nykyisellä Euroopan parlamentin F-kaasuasetuksella tullaan rajoittamaan sellaisten pienempien kylmäainetta sisältävien split-laitteiden käyttöä, joiden GWP-arvo on yli 750. Tällä hetkellä rajoitetaan sellaisten laitteiden huoltoa, joissa kylmäaineen GWP-arvo on arvoltaan enemmän kuin 2500. Lämpöpumppujen osalta nykyinen tilanne on lain säädäntöjen kannalta epävarma, mutta tällä hetkellä näyttäisi siltä, että R-410A tulee vielä säilymään käytössä. [9, s 98–99.]

2.6 Elinkaarihanke PPP-mallilla

Hybridikohteet on rakennettu elinkaarimallilla, jossa on rahoituksessa käytetty julkisen ja yksityisen toiminnan yhteistyömallia eli PPP-mallia (Public Private Partnership). Hankemallissa perustetaan erillinen projektiyhtiö, joka huolehtii hankkeen rahoituksesta. Rahoitus tulee tavallisesti pääomasijoittajilta, urakoitsijalta sekä julkisilta ja yksityisiltä investointipankeilta. Tämän tyyppisellä hankkeella tehdään puitesopimus, joka yhdessä urakka- ja palvelusopimuksen kanssa määrittelee hankkeen kokonaissisällön. [10, s. 16–18.]

Elinkaarihankkeessa läpivienti jakautuu kahtia ensin suunnittelu- ja rakennusvaiheeseen, jonka jälkeen siirrytään pitkään ylläpitojaksoon, joka sopimuksen mukaan kestää tyypillisesti 20 vuotta kohteen valmistumisesta. [10, s. 13–14.]

2.6.1 Suunnittelu- ja rakennusvaihe

Suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tilaajan tarjouspyyntömateriaali määrittelee kohteen teknisen toteutuksen vaatimukset. Tilaajan vastuulle kuuluu siis aina hankkeen lähtötietojen sekä vaatimuksien asettaminen eli hankevalmistelu. Vaatimukset ja lähtötiedot voivat olla toiminnallisia tai teknisiä. Käytännössä ne voivat liittyä esimerkiksi tilojen tulevan käyttötarkoituksen täyttymiseen tai tilojen monimuotoisuuteen, mikäli alkuperäinen käyttötarkoitus muuttuu. Palveluntuottaja, eli tässä tapauksessa rakennusliike, huolehtii tilaajalta saatujen lähtötieto-

jen ja vaatimuksien perusteella asianmukaisesta suunnittelusta sekä rakentamisesta, joka vastaa tilaajan asettamia vaatimuksia. Hankekehitysvaiheessa palveluntuottaja tekee lopulliset suunnitelmat, jotka hyväksytetään tilaajalla, minkä jälkeen ne siirtyvät tuotantoon. [10, s. 14.]

Rakennusvaiheesta tehdään tavallinen KVR-urakkasopimus. Rakennusvaiheen toteutusta tehdessä on huomioitava, että ratkaisussa käytettyjen materiaalien ja tuotteiden tulee olla sopivia elinkaarikohteelle, jossa rakentajan vastuut ovat poikkeuksellista pidemmät kuin tavallisesti. [10, s. 14.]

2.6.2 Ylläpito- eli kunnossapitajakso

Rakennusvaiheen valmistumisen jälkeen siirrytään kunnossapitajaksoon, jonka sisältö on määritelty palvelusopimuksessa. Palveluntuottaja huolehtii sopimusajan kohteen ylläpidosta palvelumaksua vastaan. Palvelusopimuksessa määritellään kunkin tilaajan sekä palveluntuottajan velvollisuudet ja vastuut koskien kiinteistön käyttöä ja ylläpitoa. Palvelusopimukseen määritetään myös tilaajan laadulliset velvoitteet ylläpitojaksolle. Tyypillinen sopimusaika palvelusopimuksia tehdessä on 20 vuotta. [10, s. 13–15.]

Ylläpitojakson aikana palveluntuottaja vastaa kiinteistön käytettävyydestä ja olosuhteista. Tällöin ylläpito huolehtii myös kohteen oikea-aikaisista kunnossapidon toimenpiteistä ja korjauksista sekä pitää huolen kiinteistön teknisestä suorituskyvystä. Käyttäjälle voidaan näin taata mahdollisimman hyvin, että sopimuksessa määriteltyihin tavoitteisiin ja olosuhteisiin päästään. [10, s. 13–15.]

3 Kohdekuvaus

3.1 Kohteen perustiedot

Tutkimuskohteena on Uudellamaalla sijaitseva toimitilakohde, joka on toteutettu elinkaarihankkeena. Kohteen kokonaispinta-ala on noin 10 500 brm². Kohteen

tarkemmat tiedot esitetään taulukossa 3 ja 4. Kiinteistön tilat jakautuvat kolmeen kerrokseen neljällä eri rakennuslohkolla. Kohteen lämmitys tuotetaan kaukolämpö-maalämpöhybridijärjestelmällä. Maalämpö kattaa noin 67 % kohteen tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta ja loppu lämmitysenergia otetaan kaukolämmöstä. Käyttöveden lämmitys tehdään täysin kaukolämmön avulla.

Taulukko 3. Kiinteistön pinta-ala, tilavuus sekä verkostojen tehotiedot kohteen suunnitteluasiakirjoista.

Kiinteistön kokonaispinta-ala	~10500 m ²
Lämmitettävä nettopinta-ala	~9550 m ²
Rakennustilavuus	~13600 m ³
Radiaattoriverkoston teho	160 kW
IV-lämmitysverkoston teho	1050 kW
Lattialämmitysverkoston teho	105 kW
Käyttövesiverkoston teho	525 kW

Taulukko 4. Maalämpöjärjestelmän tiedot kohteen suunnitteluasiakirjoista.

Maalämpöpumppu 1 lämpöteho	90 kW
Maalämpöpumppu 2 lämpöteho	32 kW
Kaivojen määrä	19 kpl
Kaivojen keskisyyvyys	266 m
Lämmönkeruu putkiston pituus / kaivo	532 m
Kaivojen kokonaispituus	5054 m
Lämmönkeruuputkiston kokonaispituus	10108 m
Kaivojen halkaisija	115 DN
Vaakaputkistojen pituus	441 m
Koko putkiston tilavuus	~14 000 litraa

3.2 Tilaajan asettamat vaatimukset

Hankkeen kilpailuvaiheen tarjous muodostuu tilaajan tarjouspyyntöaineiston pohjalta. Yleisesti tilaaja määrittelee tarjouspyynnössä hankkeen sisällön, tavoitteet sekä muut hankkeelle oleelliset vaatimukset ja menettelytavat. Tässä opinnäytetyössä esitetyllä kohteella käsiteltäviä aiheita ovat rahoitus, hankintamenettely, tarjouksen sisältö mukaan lukien vertailu- ja arviointiperusteet sekä tarjouspyynnön muut ehdot, jotka pitävät sisällään tarjouksen toimittamista koskevat ohjeistukset. Opinnäytetyön kannalta oleellisia ovat tekniset asiakirjat T5.1 kohteen toiminnalliset vaatimukset, T5.2 kohteen tekniset vaatimukset sekä palvelusopimusta koskevat asiakirjat.

3.2.1 Laadulliset ohjeistukset

Tarjouspyyntömateriaalissa tilaaja määrittelee kohteiden toiminnalliset ja tekniset vaatimukset, näiden vaatimusten perusteella palveluntuottaja lähtee tuottamaan lopullisia suunnitelmia, jotka hyväksytetään tilaajalla. Toiminnalliset vaatimukset liittyvät enemmän tilojen käyttövaatimukseen, esimerkiksi henkilömäärien ja laitevaatimusten kautta. Nämä vaatimukset luovat pohjaa tilakohtaiselle suunnittelulle. Hankkeen suunnittelussa tulee noudattaa lakien, voimassa olevien asetusten, yleisten rakentamismääräyksien sekä rakentamisen yleisten laatuvaatimusten lisäksi kaikkia RT- ja ST-ohjekortteja sekä RYL-ohjeistuksia. [14.]

3.2.2 Kohteen tekniset vaatimukset

Talotekniikan toteutuksen kannalta oleellisimmat vaatimukset löytyvät kohteen teknisistä vaatimuksista. Dokumentti asettaa perustason, jotka suunnitteluratkaisujen osalta tulee täyttää. Tilaaja on aineistossaan määrittänyt perustason koskien sisäilmastoa, energiankulutusta ja energiankulutuksen seurantaa sekä lämmöntuotannon ratkaisuja. Teknisissä vaatimuksissa otetaan kantaa mm. energiatehokkuuteen, sisäilmastoon ja LVIA-tekniikkaan sekä annetaan ohjeita kohteen teknisiin suunnitteluratkaisuihin. [11.]

Taloteknisen suunnittelun osalta määritellään, että ratkaisujen tulee olla rakentamis- ja ylläpitokustannuksiltaan edullisia, käyttäjää tyydyttäviä ja teknistaloudellisesti hyviä kokonaisratkaisuja, joissa on huomioitu kestävän kehityksen periaatteet mm. joustavuuden, muunneltavuuden ja kokonaistalouden kannalta. Suunnitteluratkaisujen tulee olla sellaisia, jotka takaavat käyttäjälle puhtaan ja terveellisen sisäilmaston kaikissa käyttötilanteissa. [11.]

Sisäilmasto luokaksi on määritetty S2+, joka poikkeaa tavanomaisesta S2 luokasta siten, että operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo lasketaan S3:n mukaan. S2+-luokitusta käytetään opetus- ja työskentelytiloissa. Sisäilmastoluokkaa S3 käytetään tiloissa, jotka luokitellaan käytön kannalta toissijaisiksi, näihin kuuluvat mm. eteiset, sosiaalityilat ja varastot. [11.]

Ilmanvaihtokoneiden suunnittelusta määritellään, että koneiden tulee olla tajuusmuuttajalla säädettäviä ja että koneet on varustettava lämmöntalteenotto-laitteilla. Ilmanvaihtokoneiden LTO-laitteiden tulee ensisijaisesti olla pyöriviä, mutta mikäli tilan poistoilma sisältää epäpuhtauksia, voidaan käyttää glykoli- tai mekaanista LTO-laitteita, jotta estetään ilmavirtojen sekoittuminen. [11.]

Energiatehokkuuden osalta tulee ottaa huomioon asetus rakennusten energiatehokkuudesta 1010/2017, jossa määritetään E-lukuvaatimus opetusrakennuksille ja päiväkodeille (enintään 100 kWh/m²). Lisäksi vähintään 10 % kohteen energiasta tulee tuottaa uusiutuvalla energialla. Lisäksi kohteelle on asetettu hiilineutraalisuuden osalta tavoitteet, joiden tulee toteutua viimeistään 2030. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen tulee olla 80 % alhaisemmat vertailurakennukseen nähden. Tavoitteen tulee toteutua koko tontin osalta. Tässä tapauksessa vertailutasona käytetään 1990-luvun suunnitteluratkaisuille toteutettua koulu- ja päiväkotirakennusta. [11.]

Energiankulutuksen seurannasta on määritelty energiavastuumalli, joka edellyttää, että palveluntuottaja pääsee tavoitekulutuksiin. Tämän takia kohteen energiankulutuksia seurataan laajasti erillismittauksilla. Erillismittaukset pitävät sisälleen veden-, energian- ja sähkönkulutuksen. [11.]

Kiinteistön järjestelmät tulee integroida älykkääseen valvomojärjestelmään, jota ohjataan ja valvotaan DDC-valvontajärjestelmällä. Kiinteistön ohjaus tapahtuu LVI-järjestelmän osalta tällöin kiinteistöautomaation kautta. [11.]

3.3 Lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate

3.3.1 Lämmönjakelu ja -tuotanto

Opinnäytetyössä tarkasteltavan kiinteistön lämmitysjärjestelmänä toimii maalämpö-kaukolämpöhybridijärjestelmä. Pääasiallisena lämmönlähteenä on maalämpö, joka toimii kahden lämpöpumpun rinnankytkentänä ja tuottaa noin 67 % tilojen- ja ilmanvaihdon lämmityksestä. Loput 33 %:a tuotetaan kaukolämmöllä. Järjestelmä pyrkii tällöin käyttämään mahdollisimman paljon hyödyksi maalämpöä, ja kun lämpöpumppujen lämmitysteho ei enää riitä, kaukolämpö tulee avuksi. Maalämpöpumppujen tuottama energia varastoidaan puskurivaraajaan, josta energia puretaan lämmitysverkostoon tarpeen mukaisesti. Lämmityksen varaajia ei ole varustettu sähkövastuksilla, vaan vikatilanteen sattuessa on kaukolämpö mitoitettu täydelle teholle ja se toimii tällöin kiinteistön varalämmönlähteenä. Lämmönjakelu kiinteistössä tapahtuu IV-verkoston, patteriverkoston sekä lattialämmitysverkoston kautta. Lämmitysverkostojen mitoituslämpötilat ovat patteri- ja IV-verkostojen osalta energiateollisuuden julkaisun K1 mukaiset, ja ne on esitetty taulukossa 5. Lämmitysverkostojen tehot on esitetty aiemmin tarkemmin taulukossa 3. [12.]

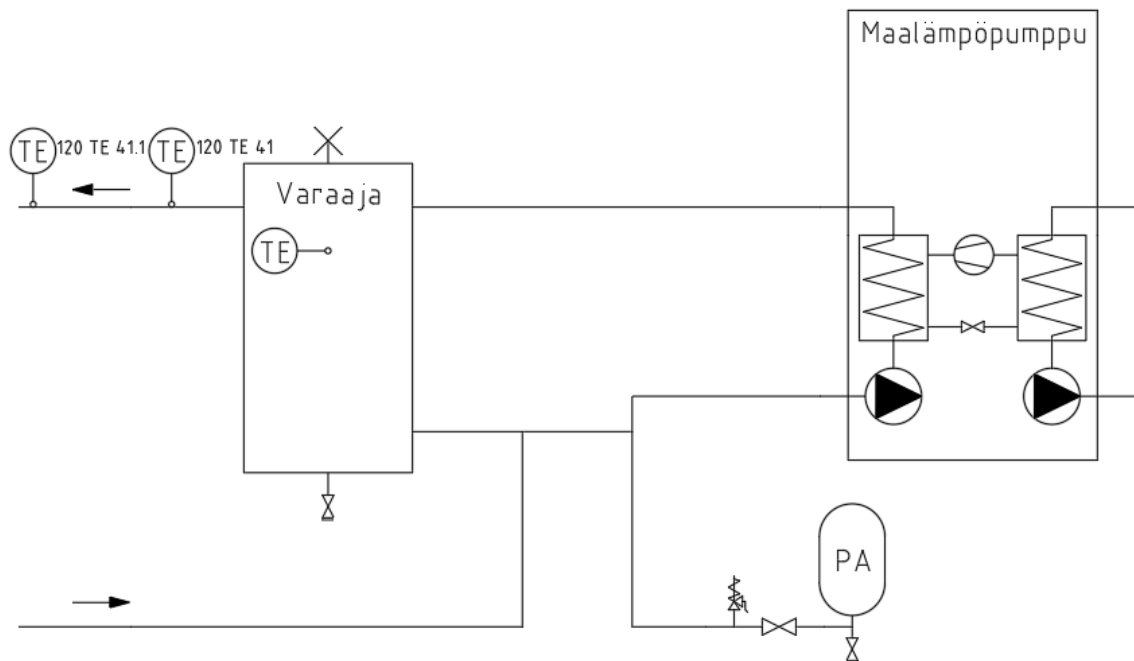
Taulukko 5. Toisiopuolen mitoituslämpötilat. [10.]

Patteriverkosto	+60 °C / +30 °C
IV-verkosto	+60 °C / +30 °C
IV-koneet	+50 °C / +30 °C
Lattialämpöverkosto	+35 °C / +30 °C

3.3.2 Maalämpöpumppujen toiminta

Kyseisessä kiinteistössä hybridilämmitysjärjestelmän tulisi ensisijaisesti pyrkiä tuottamaan kaikki lämmitysenergia lämpöpumpuilla, kuitenkin tällä tehopeitolla ei voida tuottaa aivan kaikkea lämmitysenergiaa lähestyessä mitoittavaa ulkolämpötilaa. Tällaisessa tilanteessa joudutaan käyttämään lisälämpönä kaukolämpöä. Kuvassa 3 esitetään maalämpöpumppujen ohjausta rakennusautomaatiojärjestelmästä saadulla pyynnöllä. Lämpöpumppuverkoston tehoa säädetään IV-verkoston tehon tarpeen mukaan siten, että maalämpöpumput pyrkivät pitämään varaajalta lähtevän nesteen lämpötilan anturin 120TE41 kohdalla 2 kelviniä korkeammalla, kuin IV-verkoston menolämpötilan käyrän asetusarvo on. [12.]

Rakennusautomaatio antaa maalämmölle verkoston ulkolämpötilakäyrän mukaisen pyynnin lisäten siihen +2 K suuntasiirtoa. Lämpöpumput pyrkivät pitämään pyydetyn lämpötilan anturin 120 TE 41 kohdalla. [12.]

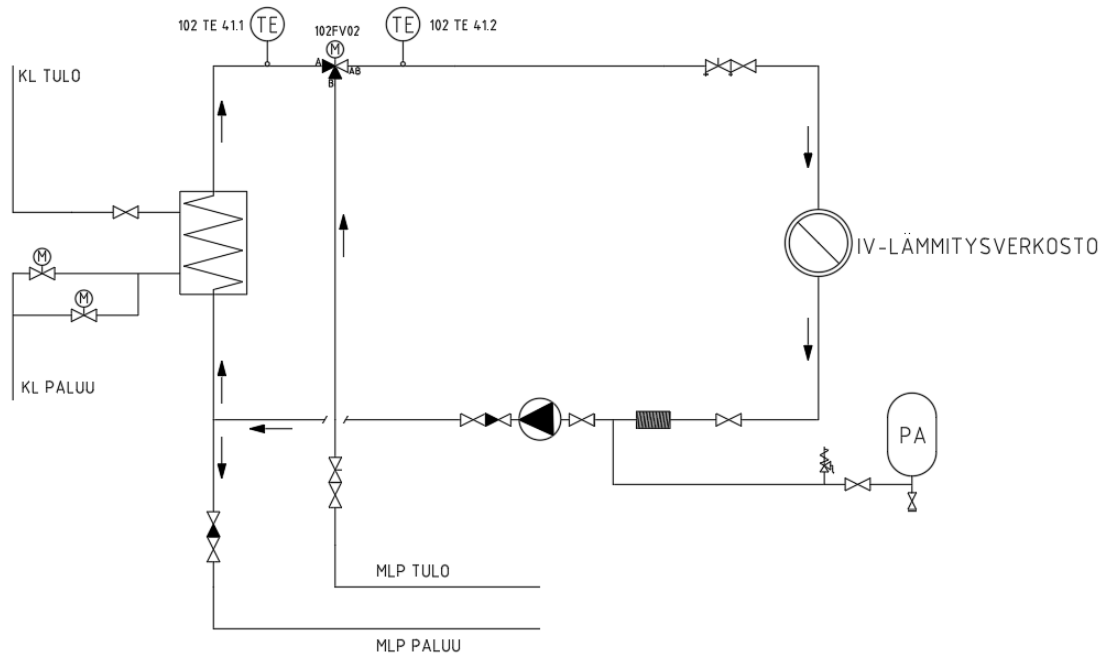


Kuva 3. Maalämpöpumppujen ohjauseriaate pelkistetysti (tilojen lämmitys).

3.3.3 IV-verkosto

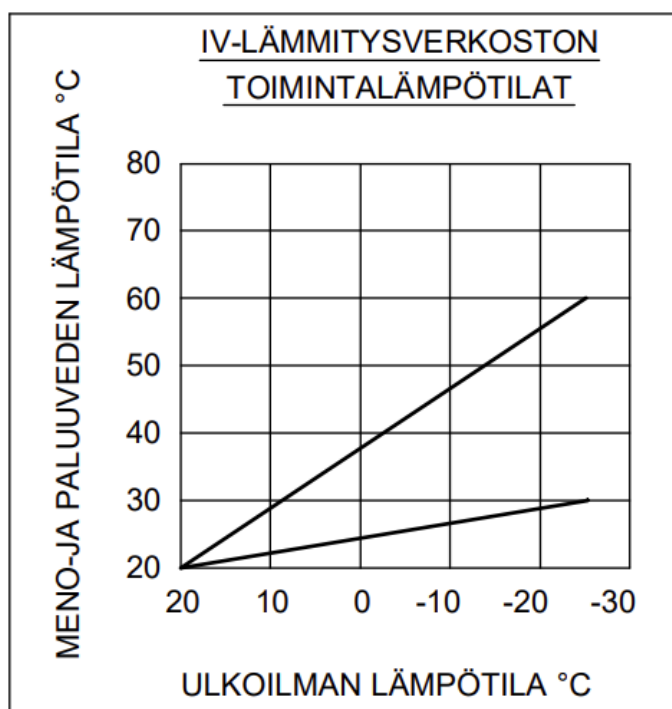
IV-verkosto on kiinteistöllä tehontarpeeltaan suurin ja on lämmitysteholtaan noin 80 % kokonaistehontarpeesta. IV-verkoston piiriin kuuluvat keskitetyn ilmanvaihdon 8 konetta, jotka ovat varustettu lämmöntalteenotoilla ja lämmityspattereilla. IV-koneiden lämmityspatterit ovat verkoston suurimpia yksittäisiä lämmönluovuttajia. Verkoston piiriin kuuluvat myös konehuoneiden lämmityspatterit sekä tuulikaappien kiertoilmakoneet, joita ajetaan tilakohtaisen tarpeen mukaan lisälämpönä. [12.]

IV-lämmitysverkosto toimii kiinteistön suurimpana verkostona sekä toimii myös lämmöntuotannollisesti mitoittavana verkostona. Verkoston menovesi (kuva 4) pyritään pitämään lämmitysanturin 102TE41.2 kohdalla määritellyn ulkolämpötilakäyrän mukaisena. Venttiilillä 102FV02 säädetään kaukolämmön ja maalämmön sekoitussuhdetta. Mikäli lämpöpumppujen teho ei ole riittävä verkoston pyyntiin nähden, eikä lämpöpumppuverkostosta tuleva neste saavuta mittarin 120TE41.1 kohdalla 2 kelviniä korkeampaa lämpötilaa verrattuna 102TE41.2 pyyntiin, lähtee 102FV02 avautumaan kaukolämmön puolelle ja kaukolämmön siirtimen venttiilit avautuvat suhteellisesti sarjassa. Toinen venttiileistä toimii nopealla säädöllä, jonka tarkoituksena on hienosäätää verkostoon lähtevän nesteen lämpötilaa. Toinen venttiili puolestaan toimii hitaalla säädöllä ja säätelee verkoston isot virtaukset, tilanteissa kun nopean venttiilin säätöalue ei ole riittävä. Venttiilien säädöllä pyritään saavuttamaan lämpöanturin 102TE41.1 kohdalla 5 kelviniä korkeampi lämpötila, kuin mikä on pyyntönä anturin 102TE41.2 kohdalla. [12.]



Kuva 4. Ilmanvaihdon lämmitysverkoston menoveden lämpötilan säätö pelkistysti.

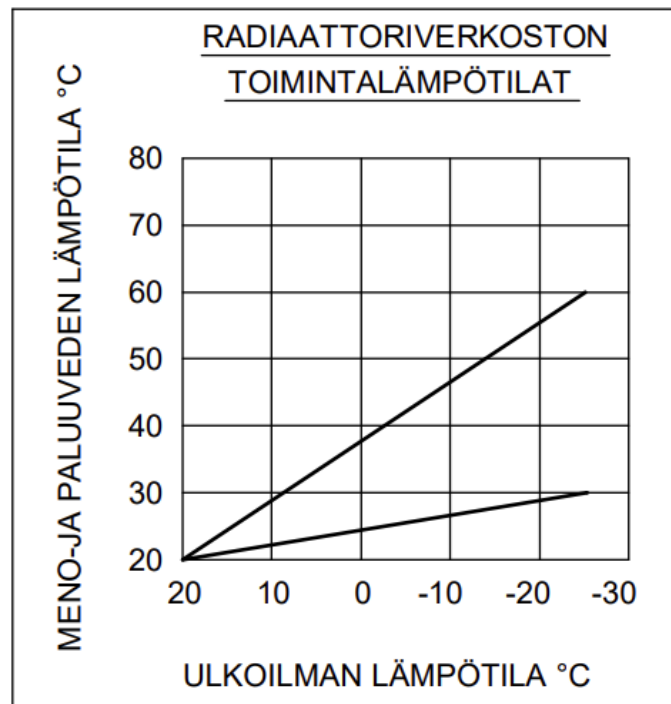
Lämmitysverkoston menovettä säädetään ulkolämpötilakäyrän avulla. Ulkolämpötilakäyrällä on määritetty, minkä lämpöistä vettä verkostoon syötetään, kun ulkolämpötila nousee tai laskee tiettyyn pisteeseen. Mitä kylmempi ulkona on, sen lämpimämpää vettä verkostoon syötetään, jotta verkosto saa pidettyä halutun lämpötilan kiinteistössä. Tässä tapauksessa IV-verkosto on teholtaan suurin, jolloin se toimii määräävänä verkostona. Tämän takia maalämpöpumppujen lämmöntuottoa (lämmitysveden lämpötilaa) ohjataan ilmanvaihdon lämmitysverkoston lämmityskäyrän mukaan, joka on esitetty kuvassa 5. [12.]



Kuva 5 Ilmanvaihdon lämmitysverkoston lämpötilakäyrät kohteen suunnitteludokumenteista.

3.3.4 Radiaattori- ja lattialämmitysverkoston toiminta

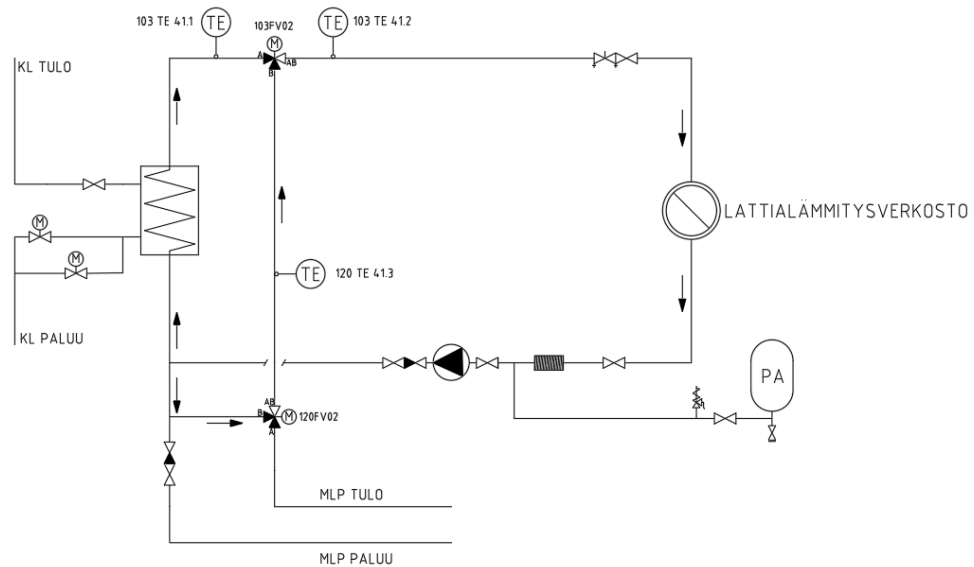
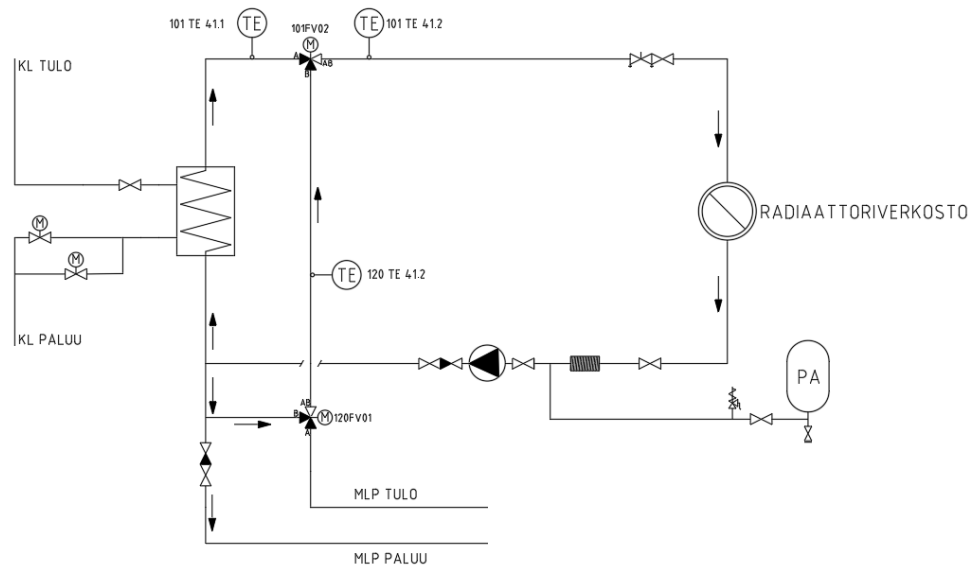
Radiaattoriverkoston kolmitieventtiilin 101FV02 ja lattialämmitysverkoston kolmitieventtiilin 103FV02 ohjaus toimii samalla tapaa kuin ilmanvaihdon lämmitysverkoston kolmitieventtiilin 102FV02. Radiaattoripiirin ja lattialämmityspiirin lämmitysenergian tarpeesta pystytään tuottamaan suurin osa pelkällä maalämmöllä (lukuun ottamatta ääriolosuhteita, jolloin maalämmön tehopeitto ei ole riittävä). Radiaattoriverkoston meno- ja paluuvien lämpötilakäyrä on sama kuin ilmanvaihdon lämmitysverkoston. Lattialämmityksen meno- ja paluuvien lämpötilat ovat huomattavasti matalammat kuin radiaattori- ja IV-lämmitysverkoston. IV-lämmitysverkoston lämpötilat on esitetty aiemmin kuvassa 5. Radiaattoriverkoston toimintalämpötilat on esitetty kuvassa 6. [12.]



Kuva 6. Radiaattoriverkoston toimintalämpötilat kohteen suunnitelma asiakirjoista.

Radiaattori- ja lattialämmitysverkostoista löytyy eroavaisuutena IV-lämmitysverkostoon verrattuna toinen kolmitieventtiili, jolla voidaan sekoittaa verkostojen paluunestettä maalämpöpumpulta tulevaan menoveteen. Tällöin radiaattoriverkostoa ja lattialämmitysverkostoa voidaan ajaa matalammalla lämpötilalla, kuin mitä IV-lämmitysverkosto pyytää maalämpöpumpuilta. Radiaattori- ja lattialämmitysverkostot sekä sekoitusventtiilit on esitetty kuvassa 7. Kuvassa 7 radiaattoriverkoston paluuv veden sekoitusventtiili on tunnuksella 120FV01 ja lattialämmityksen 120FV02. Kumpikin säätöventtiili pyrkii pitämään verkostonsa menoveden mittauksen kohdalla lämpötilakäyrän mukaista lämpötilaa. Radiaattoriverkostossa anturi on tunnuksella 120TE41.2 ja lattialämmitysverkostossa tunnuksella 120TE41.3. Sekoitusventtiilit sekoittavat kumpikin oman verkostonsa jäähtynyttä paluunestettä maalämpöpumpulta tulevaan veteen siinä tilanteessa, kun IV-lämmitysverkoston pyyntilämpötilalla tuotettu maalämmön menolämpötila ylittää verkoston pyyntilämpötilan. Tällöin saadaan verkostoon menevän maalämmöllä tuotetun nesteen lämpötila laskettua menovesikäyrän mukaiseksi.

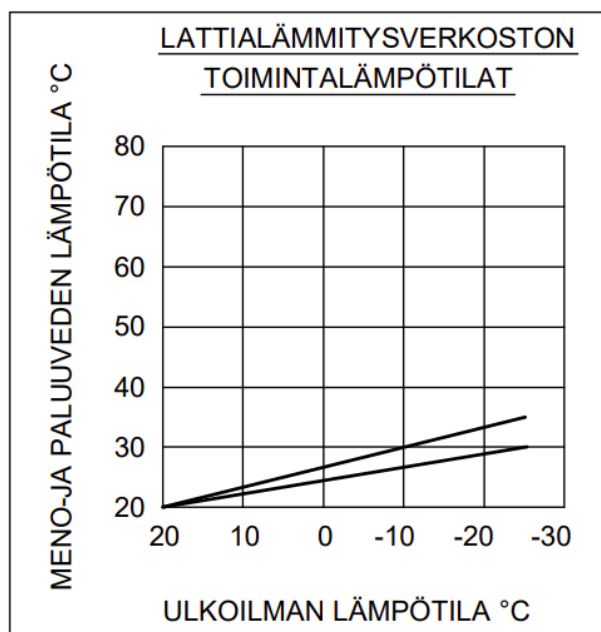
[12.]



Kuva 7. Radiaattori- ja lattialämmitysverkoston menoveden lämpötilan säätö verkostojen paluuvedellä, kun lämpöpumpun IV-lämmitysverkoston tuottaman menoveden lämpötila on korkeampi kuin radiaattori- ja lattialämmitysverkoston menoveden lämpötila.

Lattialämmitysverkoston toimintalämpötilat ovat huomattavasti matalammat kuin ilmanvaihdon lämmitysverkoston ja radiaattoriverkoston toimintalämpötilat (kuva

8). Tilanteissa, joissa maalämmöllä tuotetaan IV-lämmitysverkoston takia korkeampaa menoveden lämpötilaa kuin mitä lattialämmitysverkosto tarvitsee, sekoitetaan kolmitieventtiilillä (120FV02) lattialämmitysverkoston paluuvettä maalämpöpumpun menoveteen ja alennetaan lattialämmityksen menoveden lämpötila lattialämmitysverkoston säätökäyrän mukaiseksi. Tilanteessa, jossa lämpöpumppujen tuottaman veden lämpötila ei riitä lattialämmitykseen, suljetaan sekoituskierto (120FV02) ja lisäteho otetaan kaukolämmöstä avaamalla kolmitieventtiiliä 103FV02 (kuten radiaattoriverkoston kanssa). [12.]



Kuva 8. Lattialämmityksen toimintalämpötilat kohteen suunnitelma-asiakirjoista.

4 Tutkimustyö ja havainnot

4.1 Hankkeen aikana tehdyt havainnot

4.1.1 Suunnittelu ja suunnitelmien yhteensovitus

Kohteen maalämpöjärjestelmä on suunniteltu toteutettavaksi kahdella maalämpöpumpulla. Maalämpöpumput on suunniteltu ja mitoitettu osateholle. Esimerkki valinnoissa lämpöpumpuiksi on valittu Gebwellin Gemini 64 ja 52 lämpöpumput.

Geminit ovat kahdella on/off-kompressorilla varustettuja maalämpöpumppuja. Toteutusvaiheessa on kuitenkin päädytty käyttämään Gebwellin valmistamia Taurus 90 ja T²32-maalämpöpumppuja. Lämpöpumppujen kokonaistehontuotto on samaa luokkaa kuin suunnitellulla yhdistelmällä, mutta Tauruksen ja T²:n yhdistelmällä kuorma ei jakaudu tasaisesti lämpöpumppujen kesken, vaan Taurus tuottaa noin kolme neljäsosaa yhdistelmän lämmitystehosta. Lämpöpumppujen hyötysuhteet ja lämpötilat on esitetty taulukossa 6. Taurus ja T² ovat myös on/off kompressoreilla varustettuja lämpöpumppuja. Alkuperäisessä suunnitteluratkaisussa molemmat lämpöpumput oli varustettu kahdella kompressorilla. Toteutusvaiheessa valituissa lämpöpumpuissa toisessa (T²) on vain yksi kompressor.

Taulukko 6. Gebwell Oy Maalämpöpumppujen lämmöntuotto ja COP lukuja.

Malli		T ² 32	Taurus 90	Gemini 52	Gemini 64
Lämmöntuotto (0°/35°C ja 0°/55°C)	kW	34,6 / 30,9	84,2 / 77,9	61,0 / 54,6	69,2 / 61,8
COP (0°/35°C ja 0/55°C)	kW	4.8 / 2.9	4.2 / 3.0	4.7 / 2.8	4.8 / 2.9

On/off-pumpuissa tehoportaat menevät kompressorien tehojen mukaan. Gemini-yhdistelmällä saadaan useampi tehoporras kuin Tauruksen ja T²:n yhdistelmällä. Molemmissa tapauksissa alhaisin mahdollinen tuotettava teho on noin 30 kW.

Maalämmön tuottoa ohjataan IV-lämmitysverkoston ulkolämpötilakäyrän mukaan, eikä maalämmölle ole asetettu suoraa ylärajaa tuotetun lämpötilan suhteen. Maalämpöpumpun hyötysuhde laskee sen mukaan, mitä korkeampaa menoveden lämpötilaa tuotetaan. Maalämmön menoveden lämpötilaa tulisi tarkemmin tutkia, jotta saataisiin suurin hyöty maalämpöjärjestelmästä.

Tärkeä osuus ennen toteutuksen alkua olisi käydä järjestelmän peruseriaatteiden toteutus ja yhteensovitus läpi. Toteutuksena aikana on huomattu, että tarkempi yhteensovitus suunnitelmien ja laitteiden välillä on jäänyt osittain tekemättä. Tämä realisoituu työmaalla viivästyksinä rakentamisessa. Erityisen tärkeää olisi yhteensovittaa rakennusautomaation toiminnankuvaukset ja talotekniikan laitevalinnat, tällöin järjestelmän toiminta saataisiin varmistettua kokonaisuudessaan. Suunnitelmissa on myös havaittu ristiriitoja urakkarajojen osalta, kun esimerkiksi tiettyjä asennuksia ei ole suunniteltu sisältyväksi mihinkään urakkaan.

Suunnitelmaristiriidat aiheuttavat toteutuksen aikana huomattavan määrän työtä ja ne tulisikin saada minimoitua ennen töiden aloitusta. Tällöin käyttöönottovaiheen lähestyessä nämä eivät aiheuta enää ylimääräistä viivettä. Oleellista on tarkistaa, että suunnitellut järjestelmät on mahdollista toteuttaa niillä laitteilla, jotka siihen on tyytety. Hyväksytysvaiheessa tulisi ottaa huomioon toimintakuvausten sisällöt ja LVIS-laitteiden osalta yhteensovitus rakennusautomaation kanssa.

4.1.2 Aikataulut

Aikataulut ohjaavat koko rakennusprosessin etenemistä, siksi on tärkeää seurata aikatauluja yhtenä suurena kokonaisuutena. Mikäli aikataulut eivät pidä, tulee se näkymään loppuvaiheessa erityisesti talotekniikan töissä ja käyttöönotoissa. Käyttöönotto ja urakoitsijoiden oman työn tarkastukset olisikin hyvä huomioida jo aikataulusuunnittelussa. Kun tarkastukset ovat huomioituna osana kokonaisaikataulua, tulisi urakoitsijoiden omantyyntarkastukset ja korjaukset tehtyä oikea aikaisesti ja eivät käyttöönotto vaiheessa enää viivästyttäisi järjestelmien laajempaa testausta. Oleellista on huomioida, että oman työn tarkastuksille ja korjauksille jää riittävästi aikaa ja että ne on mahdollista suorittaa. Erityisesti sähkö-, putki- ja ilmanvaihtourakat tahdistavat loppuvaiheessa automaatiourakoitsijan työtä. Mikäli automaatiourakoitsijalle ei jää loppuvaiheessa riittävästi aikaa suorittaa omaa urakkaansa, ei käyttöönotto tule onnistumaan.

4.1.3 Urakkarajat ja sopimussisällöt

Suunnitelmien ja sopimusten urakkarajat aiheuttavat työmaalle kohtuullisen paljon työtä. Olisikin oleellista, että jo hankintavaiheessa urakkarajat ovat riittävän selkeät järjestelmien osalta. Laitteiden osalta on tärkeää, että hankinta- ja asennusrajat ovat riittävän selkeät. Mikäli hankinta- ja asennusrajoissa on epäselvyyksiä, sillä on vaikutusta loppuvaiheen töihin ja aikatauluihin. Loppuvaiheessa olisi järjestelmien käyttöönoton kannalta oleellista, että jokainen on tehnyt omalta osaltaan urakkasuorituksen loppuun.

Sopimussisältöjä ja urakkarajoja laatiessa tulisi tulevaisuudessa harkita, tulisiko aliurakoitsijan sopimuksissa ja urakkarajoissa jo määritellä tarkemmin oman työn tarkastukset, niiden suorittaminen sekä vastuunjako toiminnantestauksissa.

4.2 Kiinteistön käyttöönoton aikana havaitut ongelmat

Rakennusautomaatiolla on iso merkitys kiinteistön käyttöönotossa. Onkin oleellista, että kaikki asennustapatarkastukset ja oman työn tarkastukset on tehty ennen kuin kiinteistölle aloitetaan tekemään toimintakokeita. Mikäli asennuksia on kesken tai niissä on virheitä, tämä hankaloittaa järjestelmien käyttöönottoa sekä kohteella suoritettavia tarkastuksia.

Opinnäytetyön tapauskohteessa on havaittu, että toiminnan testausten alkaessa on järjestelmissä väärin asennettuja ja kytkettyjä laitteita, rikkiäisiä laitteita sekä kokonaan asentamattomia laitteita. Näiden seikkojen takia kiinteistöä ei voida testata yhtenä kokonaisuutena. Tämä myös aiheuttaa lisätyötä kaikille aliurakoitsijoille sekä pääurakoitsijoiden edustajille selvitystyötä. Tämä selvitystyö viivästyttää myös kohteen käyttöönottoa huomattavasti. Tätä voisi helposti parantaa tarkentamalla prosessia, joka urakoitsijoilta vaaditaan valmiin työn tarkastusten osalta.

Järjestelmiä käyttöön otettaessa tulisi toimintaselostusten olla selkeästi kirjoitettuja ja yksiselitteisiä. Liian pitkästi ja hankalasti kuvattu toimintaselostus voi aiheuttaa tulkinnanvaraa toteutuksessa ja turhia virheitä ohjelmointivaiheessa. Viivitykset ja säätötyö ovat oleellisia, jotta järjestelmät toimivat halutulla tavalla.

Käyttöönottovaihetta tulisi kehittää, jotta koko prosessi olisi sujuvampi sekä pääurakoitsijalle että aliurakoitsijoille. Käyttöönoton kehityskohteena voisi olla esimerkiksi käyttöönottoprosessin kuvauksen selkeyttäminen, vaatimuksien tarkempi esittäminen sekä tarkempi aikatauluttaminen.

4.3 Käytön aikana havaitut ongelmat

Kiinteistön käytön aikana on huomattava puutteita, jotka vaikuttavat kiinteistön energiankulutuksen optimointiin. Kiinteistön energiankulutusta seurataan kiinteistöautomaation kautta ja mittareiden mittaustieto on luettavissa valvomotalla. Kiinteistössä on kuitenkin ilmennyt käytönaikaisia ongelmia. Esimerkiksi energiankulutuksen trendiseurannat eivät toimi ja mittausdataa ei saada vietyä e-valvomosta kolmannen osapuolen seurantajärjestelmään. Kolmannen osapuolen seurantajärjestelmä on kyseisellä kiinteistöllä ISS HUB.

5 Kehitysehdotukset

5.1 Hyötysuhteiden parantaminen

Maalämpöjärjestelmää käytetään kohteissa yhdellä varaajalla, koska maalämpöpumppu saavuttaa parhaan hyötysuhteen pidemmässä käyntisyklissä. Lisäämällä varaajan tilavuutta voidaan pidentää maalämpöpumpun käyntiaikaa, jolloin maalämpöpumppu käy pidempään optimialueella. Tällöin pidemmällä tarkastelujaksolla kompressoiden käynnistyskerrat vähenisivät, mikä vähentää kompressorin rasitusta. Teoreettisesti myös keskiarvallisesti COP-hyötysuhde paranee, koska pumppu käy pidempään optimialueella. Maalämpöjärjestelmän tehontuottoa voitaisiin myös helpommin säätää käyttämällä invertteriohjattuja

maalämpöpumppuja. Tällöin saataisiin kompressorin tehoaluetta säädettyä ilman erinäisiä tehoportaita. Maalämpöpumppujen invertteriteknikka tarkoittaa lämpöpumpussa olevan kompressorin kierroslukuohjausta [13.].

Lämmitysjärjestelmän maalämpökäytön tehokkuutta voitaisiin parantaa laske-
malla radiaattoriverkoston lämpötiloja. Tämä vaikuttaisi radiaattoreiden kokoon,
mutta pitkällä aika välillä voitaisiin kyseisen verkoston kaikki lämpö tuottaa maa-
lämpöpumpuilla. Matalampi menolämpötila mahdollistaisi myös sen, että maa-
lämpöpumput toimia paremmalla hyötysuhteella, kun niiden ei tarvitsisi tuottaa
niin korkeaa menovedenlämpötilaa.

Mitoituslämpötilan osalta tulisi myös jatkossa tarkastella, millainen vaikutus saa-
taisiin laskemalla IV-lämmitysverkoston lämpötilaa Olisi hyvä selvittää, mikä vai-
kutis verkoston menoveden mitoituslämpötilan laskemisella esimerkiksi kol-
mella asteella olisi maalämmön sunntaukseen. Siirrin voitaisiin tässä tapauk-
sessa edelleen mitoittaa 60 asteeseen.

5.2 Hukkalämpöjen hyödyntäminen

Kylmiöiden käytöstä syntyvä lauhdelämpö ajetaan tällä hetkellä ulos. Olisi syytä
tutkia, voitaisiinko tätä lämpöä hyödyntää paremmin kiinteistöjen lämmityk-
sessä. Lämpö voitaisiin lauhduttaa suoraan lämmitysjärjestelmään tai vaihtoeh-
toisesti maalämmön paluuverkostoon ja ladata kaivoihin. Tämä vaatisi tarkem-
paa suunnittelua mm. keittiön sijoitteluun suhteessa lämmönjakohuoneeseen,
jotteivat materiaalikustannukset mitätöi saatua hyötyä. Kohteen olemassa ole-
vaa puhallinkonvektoriverkostoa voitaisiin tässä tapauksessa hyödyntää, mikäli
kylmälaitteista syntyvä lauhdelämpö ajettaisiin verkostoon käytettäväksi lämmi-
tysenergiaksi.

5.3 Automaatiolla saavutettavat kustannussäästöt

Suuressa kiinteistössä rakennusautomaation osuus korostuu kohteen energian-
kulutuksen hallinnassa. Tapauksessa, jolloin suurin osa kohteen talotekniikasta

on rakennusautomatikan kautta hallittavissa, on mahdollisuus säätää laitteita tarpeen ja tilanteen mukaan. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneita pystytään ohjaamaan aikaohjelmalla. Tällöin voidaan kiinteistön käyttöajan ulkopuolella pienentää kokonaisilmavirtoja samalla säästämällä lämmitykseen ja puhaltimien käyttämiseen kuluva energiaa. Tilanteissa, jolloin ulkolämpötila on riittävän korkea, voidaan kiinteistön lämmityksen kiertopumput sammuttaa. Tällöin voidaan säästää pumppujen käyttöenergiassa.

Automaatiota voidaan myös hyödyntää lämpöpaketin 3-tieventtiilien ohjauksessa. Tilanteissa, joissa saavutetaan huippumitoituskelit, voitaisiin maalämpöä käyttää ensisijaisesti matalalämpöisissä verkostoissa. Tässä tapauksessa esimerkiksi lattialämmityksen matalampi menolämpötila voitaisiin tuottaa pelkän maalämpöjärjestelmän avulla. Tällöin maalämpöpumput voivat tuottaa matalampaa lämpötilaa, mikä parantaa pumppujen hyötysuhdetta. Edellä mainitussa tilanteessa ohjattaisiin 3-tieventtiileitä siten että tietyn raja-arvo lämpötilan jälkeen ajetaan ensisijaisesti lämpöä matalammalle lämpötilalle mitoitettuihin verkostoihin. Siinä tapauksessa, jos maalämmöstä riittää tehoa vielä käytettäväksi, ajettaisiin tämä loppu teho ilmanvaihdonlämmitysverkostoon sunnattavaksi 3-tieventiilille.

5.4 Ylläpitovaiheen järjestelmien optimointi

Rakennusvaiheen jälkeen kiinteistö siirtyy käyttöönottovaiheeseen. Energiankulutuksen kannalta olisi tällöin olennaista saada kiinteistön järjestelmät toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. Tätä voitaisiin ohjata tekemällä ylläpitovaiheen optimointi- ja tarkastussuunnitelma. Suunnitelman tavoitteena olisi parantaa energiatehokkuutta ja havaita käyttöönottovaiheessa mahdollisesti huomauttamatta jääneet viat. Ylläpitovaiheen prosessi tulisi jakaa eri vaiheisiin, mitkä tukevat optimointiprosessia ensimmäisen kahden vuoden aikana.

Oletuksena voidaan pitää, että järjestelmien perustoiminnallisuudet on tarkastettu rakennusvaiheen toiminnantestauksissa ja tarkastuksissa. Ylläpitovaiheessa tulee tarkistaa, että kiinteistön dataseurantaprosessi toimii halutulla tavalla. Näin voidaan varmistua siitä, että kiinteistöltä saadaan kaikki tarvittava energiankulutustieto käyttöön kiinteistön optimointia varten.

Ensimmäinen vaihe optimointiprosessia tulisikin olla tiedonkeruu ja analysointi. Tämän vaiheen aikana kerätään tietoa energiankulutuksesta ja järjestelmien toiminnasta. Tavoitteena olisi tunnistaa optimointi mahdollisuudet ja mahdolliset ”pullonkaulat” jotka toimivat rajoittavina tekijöinä.

Samaan aikaan kun tiedonkeruu ja analysointi on käynnissä, tulisi myös ensimmäisen kerran tehdä lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihtojärjestelmien säätöjen tarkastaminen. Tässä vaiheessa käydään läpi, että asetuservot ja säätötavat ovat käyttöön soveltuvat. Kun mittaustietoa on kerätty pidemmältä ajalta esimerkiksi yhden tai kahden lämmityskauden ajalta tehtäisiin laitteiden ja järjestelmien säätöihin ja ohjauksiin suurempi optimointi ja säätökierros, joka dokumentoidaan kiinteistön huoltokirjaan ja vietäisiin myös kohteen projektipankkiin.

Kiinteistön ollessa kertaalleen optimoitu ja säädetty siirryttäisiin jatkuvan seurannan ja optimoinnin käytäntöön. Tässä kohtaa kiinteistön toimintaa seurataan ja säännöllisesti, sekä tehdään tarvittavaa hienosäätöä, jotta järjestelmien toiminta pysyy optimaalisena. Jatkuvasta hienosäädöstä kuitenkin tulisi pitää lokia ja seurata toimenpiteiden vaikutuksia kiinteistön toiminnassa lyhyemmällä, että pitkällä aikavälillä. Jatkuvan seurannan tukena voidaan käyttää myös energia-katselmuksia, joilla voidaan tutkia ja arvioida mahdollisia energiansäästötoimenpiteitä. Nämä voitaisiin jaksottaa esimerkiksi käyttöönotosta alkuun tiheämmin ja elinkaarihankkeen loppua kohden 5 vuoden välein. Näin kiinteistön energiatalouteen saavutettaisiin jatkuva prosessin kehitys koko hankkeen ajaksi ja samalla saataisiin kerättyä tarvittavaa dataa ja tietoa seuraaville hankkeille.

5.5 Sopimusten ja toteutusaikaisen laadunvarmistuksen kehittäminen

Hankkeen alusta alkaen on tärkeää tunnistaa mahdolliset vaiheet, joissa virheitä hankkeen läpiviennissä tapahtuu. Suunnitteluvaiheessa tehdään päätöksiä ja valintoja koskien koko toteutuksen läpivientiä. Tärkeää olisi kiinnittää huomiota esimerkiksi laitevalintoihin sekä niiden teknisiin ominaisuuksiin. Usein hankkeen läpiviennin aikana halutaan käyttää vaihtoehtoisia tuotteita, jonka takia tuotteiden tärkeimmät ominaisuudet tulisi olla esitettynä jo suunnitteluvaiheessa.

Tärkeä osa suunnittelua olisi myös huomioida mahdolliset urakkarajat mahdollisimman tarkasti suunnitteluasiakirjoissa. Tällöin ei jouduta rakentamisen aikana siihen tilanteeseen, ettei jokin osa työstä kuulu kenenkään urakkaan. Osana tätä kokonaisuutta on tärkeää jo etukäteen laatia riittävän selkeät linjaukset urakkarajojen suhteen.

Työn aikainen laadunvarmistus on suuressa roolissa koko hankkeen osalta. Laadunvarmistuksen tulisi tapahtua oikea-aikaisesti sekä riittävän laajalla tasolla, etteivät mahdolliset virheet kantaudu enää toiminnantestauksiin ja ylläpitäjäksi. Mahdollinen ratkaisu voisi olla tähän, että omantyyntarkastukset ja toiminnantestaukset sisällytetään riittävän tarkasti osaksi sopimusta ja urakko-ohjelmaa. Apuna voisi toimia myös erillinen urakkarajaliite, jolla selkeytetään esittämistä mitkä tarkastukset kuuluvat kenellekin sekä missä laajuudessa.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin elinkaarimallilla rakennetun kiinteistön hybridilämmitysjärjestelmää ja keskityttiin havainnoimaan ongelmia ja mahdollisia kehityskohtia suunnittelusta, toteutuksesta, lämmitysjärjestelmän käyttöönotosta sekä takuuaikojen havainnoista. Keskeisimmät havainnot liittyivät automaatiolla toteuttavaan

ohjaukseen ja kiinteistön käytönaikaiseen optimointiin, laadunvarmistus prosessin puutteisiin, sekä jo suunnitteluvaiheessa tehtäviin ratkaisuihin, jotka vaatisivat tarkempaa huomiota.

Havaintoja ja kehityskohtia kertyi jokaisesta hankkeen vaiheesta, ja useammassa olisi mahdollisuuksia syvemmälle tarkastelulle ja mahdolliselle jatkokehitykselle. Insinööriyön havaintojen perusteella tutkittavaksi jää, miten paljon hyötyä saataisiin laskemalla verkostojen menolämpötiloja, kun toteutetaan kiinteistöä kaukolämpö-maalämpöhybridinä. Tällöin pitäisi selvittää, ylittääkö energian kulutuksesta saatu säästö lämmitysverkoston rakennuskustannusten nousun.

Insinööriyön havaintoja voidaan käyttää apuna seuraavan vastaavan hankkeen toteutusprosessissa, jolloin hankkeen läpivientiä voidaan sujuvoittaa. Havainnot huomioilla, voidaan kiinteistön energiatehokkuutta pitkällä aikavälillä parantaa. Kehittämällä sopimuksia ja toteutusaikaisia toimintatapoja pystytään luomaan kustannussäästöjä hankkeen toteutuksen aikana. Kustannussäästöt toteutuvat parantamalla rakennusvaiheen laadunvarmistusta, ja tällä tavoin poistamalla muutoin hankkeen käyttöönotto tai ylläpitovaiheeseen jääviä virheitä. Mitä vähemmällä virheillä hanke saadaan luovutettua, sen helpompaa tulee olemaan kiinteistön lämmitysjärjestelmän optimointi. Samalla voidaan vähentää tarvetta takuukorjaustöihin. Takuukorjaustöihin sidotut henkilöt ovat suoraan pois seuraavan hankkeen resursseista, jotka voisivat ehkäistä samojen ongelmien toistumista seuraavalla hankkeella.

Kehityskohteita löytyy ainakin suunnitelmien ja urakkarajojen yhteensovittamisesta, ylläpitojakson järjestelmien optimoinnista, sekä työaikaisen laadunvarmistusprosessin selkeyttämisestä. Näitä kehityskohteita parantamalla pystyttäisiin tuomaan säästöä hankkeen koko elinkaaren aikana ja tuottamaan entistä laadukkaampi ja energiatehokas lopputulos.

Lähteet

- 1 Tietoa YIT:stä. 2023. Verkkoaineisto. YIT Group. <<https://www.yit-group.com/fi/tietoa-yitsta>>. Luettu 16.1.2024.
- 2 K1 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/julkaisut/rakennusten-kaukolammitys-maaraykset-ja-ohjeet-julkaisu-k1-2021>>. Luettu 19.12.2023.
- 3 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2020. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Opetushallitus.
- 4 ST-Käsikirja 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018. Sähkötieto.
- 5 Modbus User's guide (1.0). Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.se.com/fi/fi/product-range/574-modbus/#documents>>. Luettu 27.12.2023.
- 6 Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latausvalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. 2020. 733/29.10.2020.
- 7 Euroopan unionin F-kaasuasetus. 2020. Verkkoaineisto. Scanoffice. <<https://scanoffice.fi/ajankohtaista/euroopan-unionin-f-kaasuasetus/>>. Luettu 26.1.2024.
- 8 Keto, Matias. 2022. Alhaisen GWP-arvon lämpöpumput, Suomen kylmäyhdistys, kylmätekniikan koulutuspäivät. Esitys 28.1.2022
- 9 Lönnblad, Riina. 2022 Katsaus uusiin kylmäaineisiin, Suomen kylmäyhdistys, kylmätekniikan koulutuspäivät. Esitys 28.1.2022
- 10 YIT Oyj hankemalliopas. 2023. Verkkoaineisto. YIT Oyj. <<https://www.yit.fi/hankemallit>>. Luettu 28.1.2024.
- 11 Kohteen tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. 2017. Yrityksen sisäinen aineisto. YIT Oyj.
- 12 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän toimintaselostus. 2020. Yrityksen sisäinen aineisto. YIT Oyj.
- 13 Lämpöpumpun invertteriohjaus. Verkkoaineisto. Gebwell Oy <<https://gebwell.fi/maalampo/lampopumpun-invertteriohjaus/>> Luettu 15.3.2024.